

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5115912号  
(P5115912)

(45) 発行日 平成25年1月9日(2013.1.9)

(24) 登録日 平成24年10月26日(2012.10.26)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 S	17/42 (2006.01)	GO 1 S	17/42
GO 1 B	11/00 (2006.01)	GO 1 B	11/00 H
GO 1 N	15/02 (2006.01)	GO 1 N	15/02 B
GO 1 N	21/49 (2006.01)	GO 1 N	21/49 C

請求項の数 5 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2001-48483 (P2001-48483)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成13年2月23日(2001.2.23)		独立行政法人日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2002-250769 (P2002-250769A)		茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(43) 公開日	平成14年9月6日(2002.9.6)	(74) 代理人	100140109
審査請求日	平成18年10月13日(2006.10.13)		弁理士 小野 新次郎
		(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男
		(74) 代理人	100096013
			弁理士 富田 博行
		(74) 代理人	100092015
			弁理士 桜井 周矩
		(74) 代理人	100093713
			弁理士 神田 藤博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高速ゲート掃引型3次元レーザーレーダー装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザーレーダー装置であって、  
パルスレーザーを大気中に照射するように配置されたパルスレーザー発生装置と、  
大気中に浮遊する個々の微粒子から散乱されたレーザーエコー光を該レーザーエコー光の時間幅より短いゲート時間幅内で受信するように配置された2次元光検出器であって、  
該2次元光検出器は、前記パルスレーザーの発射時刻に対する任意の遅延時間の後に、個々の微粒子のレーザーエコー光を捕えた点状画像からなる2次元分布画像を得るように制御される、前記2次元光検出器と、  
を備え、

前記ゲート時間幅の前記パルスレーザーの発射時刻に対する遅延時間を一定にして、該一定の遅延時間に対応する距離の大気中の空間に存在する微粒子からのレーザーエコー光を前記2次元光検出器で検出し、これにより得られた2次元分布画像に基づいて、前記一定の遅延時間に対応する距離の大気中の空間に存在する微粒子の数量及び粒径に関する2次元分布を取得する手段、及び、

前記遅延時間を連続的または断続的にスキャンし、変化した遅延時間に各々対応する距離の大気中の空間に存在する微粒子からのレーザーエコー光を前記2次元光検出器で順次検出し、これにより得られた複数の2次元分布画像を蓄積することによって、大気中空間の微粒子の数量及び粒径に関する3次元分布を取得する手段のうち少なくともいずれかを備

えることを特徴とする、レーザーレーダー装置。

【請求項 2】

前記大気中空間の微粒子の数量及び粒径に関する 2 次元または 3 次元分布を時間を隔てて計測することにより、該 2 次元分布または 3 次元分布の時間的変化を取得することを特徴とする、請求項 1 のレーザーレーダー装置。

【請求項 3】

前記パルスレーザー発生装置により発生されたパルスレーザーは、そのビーム拡がりをもっとも拡大されて大気中に照射されるか、または、大気中をより広範囲に掃引されながら照射されることを特徴とする、請求項 1 のレーザーレーダー装置。

【請求項 4】

前記 2 次元光検出器の前記ゲート時間幅を調節することにより、前記大気中空間の微粒子の数量及び粒径に関する 2 次元分布または 3 次元分布の精度を任意に変えることができることを特徴とする、請求項 1 のレーザーレーダー装置。

【請求項 5】

前記大気中空間の微粒子の数量及び粒径に関する 2 次元分布または 3 次元分布の時間的変化を相関法で解析することにより、前記微粒子の速度及びその速度方向、または、前記微粒子が浮遊しているところのエアロゾルの風向、風速及び拡散速度を検出することを特徴とする、請求項 2 のレーザーレーダー装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、基本的にレーザーレーダー装置が活用されている分野で利用でき、具体的には、自然現象、様々な産業及び交通車両等より大気中に放出され、大気中を浮遊する有害汚染物質、環境ホルモン、エアロゾル、微粒子等を観測または検出する環境分析産業分野で利用でき、または大気中の温度、流れ、水蒸気、二酸化炭素等の分布または状態を調査する気象産業、さらに火山、海洋より放出されるガス、火山灰等の計測を行う産業、学術分野で利用できる。

【0002】

【従来の技術】

従来のレーザーレーダー方式では、基本的に一方向にレーザーパルス光を放射し、大気中のエアロゾル、微粒子等の物質とレーザーパルスとの後方散乱現象等の相互作用により戻ってきたレーザーエコー光（受信信号）を解析するため、その方向のみのそれら物質の 1 次元空間分布の情報のみしか得られない。この従来の方法では、非常に空間の狭い 1 次元の範囲での物質検出しかできないため、広い範囲にわたる物質の 2 次元或いは 3 次元空間分布情報を得るためには、対象とする大気中の広い範囲にレーザーパルス光をスキャンして照射することが必要である。

【0003】

このレーザーパルス光を各方向にスキャンして計測するために、基本的に 1 ショットのレーザーパルス照射での 2 次元空間分布計測は不可能であり、かつ計測に多大の時間を費やす。さらにレーザーエコー光を解析して浮遊物質の 2 次元或いは 3 次元空間分布情報を得る場合にも長い検出時間を有する。また一般の CCD (Charge Coupled Device: 映像を電子信号に変える素子) 等のゲート機能を有する 2 次元画像検出器を用いる場合でも、特定のゲート遅延時間、ゲート時間幅内の 2 次元分布しか取得することができない。

【0004】

3 次元分布を取得する際には、ゲート遅延時間を細かくずらす必要があるため多大の計測時間を必要とする。この長い計測時間のため大気中で物質の空間分布が瞬時に変化する場合、計測される分布の空間、時間精度が著しく悪化する。特に風速の速い大気中での計測は、精度良く物質の 2 次元或いは 3 次元空間分布情報を求めることはできない。

【0005】

10

20

30

40

50

**【発明が解決しようとする課題】**

従来のレーザーレーダー方式のレーザーエコー光検出部は、望遠鏡等の集光素子で得られるレーザーエコー光を単一の高感度受光部、半導体素子、フォトダイオード、二次電子増倍管等を使用している。このため、レーザーエコー光の1次元的時間変化の情報しか得られない。

**【0006】**

従って、大気中の広い空間でのエアロゾル等の物質の空間分布情報を得るには、レーザーパルス光を様々な方向に照射しなければならないため、長い時間を必要とする。さらにCCD等の2次元検出器を用いる場合にも基本的に2次元分布が計測できるが、3次元分布を計測するには長い計測時間を必要とする。このため、従来の方法で2次元または3次元の大気中に浮遊する物質の空間分布情報を瞬時に得ることは困難である。

10

**【0007】****【課題を解決するための手段】**

本発明のレーザーレーダー方式では、レーザーエコー光検出部に高速ゲート掃引機能、高フレーム繰り返し数を有するCCD、MCP等の2次元素子を用いる。これによって、レーザーエコー光信号を大気中の空間を細かく区切った2次元画像データとしてとらえることができ、これに高速ゲート掃引機能を活用することで浮遊物質の3次元空間分布を瞬時に捕えることができる。

**【0008】**

本発明は、パルス発振用パルスレーザー光発生装置(a)、対象とする大気中の広い範囲にレーザーパルス光をスキャンして発射する装置(b)、発射されたレーザーパルス光と大気中のエアロゾル、微粒子等の浮遊物質との後方散乱現象により戻って来たレーザーエコー散乱光を集光する装置(c)、前記散乱光を2次元的に捕捉することのできる2次元素子を備えた受光検出器(d)、及びこれらの機器を制御及びデータ処理解析装置(c)から構成され、レーザーエコー光を前記受光検出器の2次元素子で捕捉し、且つ前記受光検出器に備えられた高速ゲート掃引機能を使用することにより、大気中の浮遊物質を2次元及び3次元空間分布として計測することを特徴とする、高速ゲート掃引3次元レーザーレーダーである。

20

**【0009】****【発明の実施の形態】**

本発明のレーザーレーダー方式に用いられる高速ゲート掃引機能、高フレーム繰り返し数を有するCCD、MCP等の2次元素子によって、まず2次元的にレーザーエコー光信号を空間的に細かく区切った画像として捕らえることにより浮遊物質の2次元空間分布を瞬時に捕えることができる。

30

**【0010】**

かつ高速ゲート機能を利用してレーザーレーダー装置より任意の距離にある大気中の物質の空間断面分布情報(特定距離の2次元空間分布)をも瞬時に捕えることもできる。さらに、ゲート機能を活用してゲートのレーザー発射時刻からの遅延時間をレーザーパルス光のショット毎に連続的にずらすことにより連続的な空間断面分布情報を得ることが可能となり、それらを高速フレーム機能(高い画像取り込み及び処理周波数)でつなぎ合わせることで3次元空間分布を瞬時に得ることが可能となる。

40

**【0011】**

本発明において必要とする装置は、パルス発振用のパルスレーザー発生装置、出射レーザービーム光学系、レーザーエコー散乱光を選択し2次元素子面上に集光する散乱光集光系(レーザーエコー集光学系:干渉フィルター等を含む)、2次元受光検出器、及びシステム全体を制御しデータを解析し画面上に映し出す制御解析システム(システム制御及びデータ処理解析装置)から構成される。

**【0012】**

大気中に、産業用工場からまたは自然に放出され浮遊する微粒子またはエアロゾル群がある程度の高さに拡がりを持って分布している。それに向けて、制御解析システムによ

50

て制御されたレーザー発生装置より出射レーザービーム光学系を通してビーム拡がりの広いパルスレーザー光をその領域に対して広範囲に照射する。

【0013】

大気中に浮遊する微粒子群とレーザーパルスとの後方散乱現象からのレーザーエコー光を散乱光集光系（レーザーエコー集光学系）を経て2次元受光検出器に集光し、制御解析システムによって2次元受光検出器を計測制御して微粒子群の2次元或いは3次元空間分布を得る。さらにその空間分布を解析して微粒子群の分布の速度、風向データを得る。

【0014】

本発明で使用される2次元素子とは、CCD素子や、マイクロチャンネルプレートを用いたイメージンシファイヤーであるが、本発明においては、これらの素子にゲート幅の短い高速のゲート掃引機能を持たせることで大気中の空間情報を細かく分けて瞬時に観測できる点を特徴としている。この点が、従来の2次元素子を用いた方法と相違する点である。

【0015】

本発明においては、2次元光検出器、高速CCDカメラ等で繰り返し得られる2次元或いは3次元分布情報の時間変化を相関法等で解析することにより大気中に浮遊する微粒子、エアロゾルの分布の速度、方向を計測することができる。この場合は、ある時刻に、本発明の装置で空間の微粒子等の分布がコンピューター画面上に得られるが、その数秒後に同様の計測を行うと同様の分布が得られる。この2つのデータの空間的なずれと計測の時間差から計測している対象の微粒子の大気中での流れの速度、方向を測定することができ、コンピューター上で画像データを処理することで得られる。

【0016】

【実施例】

図1に本発明を用いたレーザーレーダー方式の概略図を示す。その装置は、パルス発振のレーザー装置（パルスレーザー発生装置）2、大気中に向けて広いビーム拡がりでのレーザービームを照射する出射レーザービーム光学系3、遠方からのレーザーエコー光を選択するフィルター等の光選択素子を備えかつ広範囲に2次元光検出素子面上に集光する光学系（レーザーエコー集光学系）4、高速ゲート掃引機能、2次元受光検出器5、システム全体を制御するシステム及び検出器で得られたデータを解析し画面上に映し出す解析システム（システム制御及びデータ処理解析装置）1から構成される。

【0017】

まず、図1に示すように大気中に産業用工場からまたは自然に放出されたエアロゾル群7等の分布がある程度の高さに拡がりを持って分布する。それに向けて、レーザー装置より比較的ビーム拡がりの広いパルスレーザー光6をその領域に対して広範囲に照射する。または、ビーム拡がりの狭いレーザー光の場合は、その領域をカバーするようにレーザー光を空間的にスキャンして照射する。

【0018】

このパルスレーザー光照射により大気中に分布するエアロゾル群7からのレーザーエコー光（後方散乱光）8が図2（b）のように後方散乱によってレーザー装置の方向に戻ってくる。この光を望遠鏡等の集光器（レーザーエコー集光系）4により、図2（a）に示すように高感度MCPとCCD素子との組み合わせ、または高感度CCD素子等の2次元受光検出器5の光検出面上に結像する。

【0019】

CCD素子を例にとって大気中に分布するエアロゾル群の2次元、3次元の空間分布の導出方法を以下に記す。後方散乱によるレーザーエコー光が集光された高感度CCD素子面上の一つのピクセル素子（図2（a）参照）には、図2（b）の信号のような一般的に以下のライダー方程式（1）に従う距離Rの点から輝度 $P_r(R, r)$ の後方散乱光が入る。

【0020】

【数1】

10

20

30

40

50

$$Pr(R, \lambda) = P_0 K \cdot (c\tau/2) A_r \beta(R) Y(R) F(R) \cdot \exp\left(-\int_0^R \alpha(\lambda_0, x) dx - \int_0^R \sigma(\lambda_0, x) dx\right) / R^2 \quad (1)$$

$Pr(R, \lambda)$  : 距離  $R$  の点からの後方散乱光(波長  $\lambda$ )

$P_0$  : レーザーパワー(出射レーザー波長  $\lambda_0$ )

$K$  : 受信光学系の効率

$c$  : 光速度

$\tau$  : レーザーパルス幅

$A_r$  : 望遠鏡受光面積

$\beta(R)$  : 微分後方散乱断面積

$Y(R)$  : 望遠鏡の視野中にレーザー光が含まれる割合

$\int_0^R \alpha(\lambda_0, x) dx$  : 光学的厚さ

$\alpha$  : 物質濃度と  $n$  と吸収断面積  $\sigma$  の積

10

#### 【 0 0 2 1 】

CCD素子ピクセルのゲート時間幅を、エアロゾル空間分布の各地点から戻ってくるレーザーエコー光の時間幅より長くとした場合、一つのピクセルには図2(b)のような信号をゲート時間内で集積または積分した値が検出される。図2(b)に示す後方散乱信号は、従来方法で検出されるもので、この信号の経過時間はレーザー出射装置(図1の2及び3)からエアロゾル分布の各地点までの距離を表し、信号強度は各地点のエアロゾル濃度を表す。この2次元に配列された多数の各ピクセル信号量を2次元画面上に表すと、レーザー出射地点から大気中のエアロゾル方向を見たときの大気中に3次的に分布するエアロゾル群を2次元に圧縮した2次元空間分布が得られる。またこの信号量の全体量から、その方向にあるエアロゾル量を推定することができる。

20

#### 【 0 0 2 2 】

このCCD素子に高速ゲートスキャン機能及びゲート遅延機能を備えると、ゲート時間幅を図3(a)のように短くすること及び適当な遅延時間を持たせることが可能となる。よって時間的に変化するレーザーエコー光の散乱信号を最小ゲート時間幅まで時間分解することができる。最小ゲート時間幅は、空間分布の最小分解距離を表す。時間幅が仮に1ns(10<sup>-9</sup>秒)であるとき最小分解距離は30cmとなる。このゲート時間内に検出されるCCD素子の信号量は、この短いゲート時間幅内の散乱信号の積分値を表す。ゲート時間幅が短ければ短いほどこの信号量は、その地点での真の散乱信号値に近い値となる。この短いゲート幅のままゲート遅延時間を連続的または断続的にずらしてスキャンすると、上記のゲート時間が長い場合の積分量と違い図3(b)のように図2(b)のような従来方法で検出されるものと同様な散乱信号が得ることができる。

30

#### 【 0 0 2 3 】

図4には、直線状に並んだピクセルのゲート遅延時間をスキャンして得られた各散乱信号を示す。このようにして散乱信号の空間分布を瞬時に得ることができる。またCCD素子の各ピクセルのゲート時間幅を短くしてさらに遅延時間を一定にすると、図5(a)のようにレーザー出射装置から一定距離にあるエアロゾルの空間断面分布を計測することが可能となる。

40

#### 【 0 0 2 4 】

さらに、図4のような散乱信号をCCD素子全体で計測すると、大気中に分布する微粒子、エアロゾル群の3次元分布を計測することが可能となり、CRT画面上に図5(b)のように表示でき、空間分布の濃淡を瞬時に計測することが可能となる。本発明で得られた3次元分布の精度は、ゲート時間幅、遅延ゲートスキャン速度及びCCD素子の画面(フレーム)取りこみ速度に依存する。従って、ゲート時間幅が短く、スキャン速度及び取りこみ速度が速ければ、大気中に浮遊するエアロゾル分布の風向、風速及び拡散速度を高

50

精度で検出することを可能とする。

【 0 0 2 5 】

図 6 には、上述の計測システムにおいて、直径約 1 c m の Y A G レーザー光（波長 5 3 2 n m、パルス幅 3 n m 及びパルスエネルギー 3 0 m J）を半角約 1 ° の角度で広角で大気中に放出し、約 1 0 0 m 遠方の大気中の微粒子等より散乱で戻ってくるレーザーエコー光を当該 C C D カメラで計測した画像データである。このときのゲート幅は約 3 n m である。図に写る白い斑点状のものは、レーザー発射位置より 1 0 0 m 先で直径約 3 m、長さ約 0 . 9 m の円筒空間に浮遊する微粒子からの散乱光である。

【 0 0 2 6 】

これら散乱光の点状のデータを計数、処理することにより、その付近での微粒子の数量及び粒径等を計測することができる。また、これらの値をモニターすることにより、時間的な変動を観測することができる。さらにゲートの遅延時間を放出するレーザー光パルスごとに掃引することにより微粒子の空間分布を短時間で広範囲に計測することができる。

10

【 0 0 2 7 】

【発明の効果】

本発明の装置方式により、従来の方法に比して飛躍的に大気中に浮遊する微粒子またはエアロゾル等の物質の 2 次元及び 3 次元空間分布を広範囲、精度良くかつ瞬時に測定することができるため火山の噴火情報、または光化学スモッグ、環境汚染物質による大気汚染、自動車排気ガスによる環境公害等の情報を素早く正確に得られる。これら情報が必要な環境対策に役立て環境保護、保全に貢献することができる。

20

【 0 0 2 8 】

またある工場施設等より有害な物質が大気中に誤って放出されたときにこの本発明の装置方式を用いれば、施設周囲の住民及び通行者等を正確に安全な方向に避難させることが可能である。また、時々刻々変動する浮遊する有害物質の大気中空間分布及び速度、方向を時間的に正確な情報を画像等で提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明方式を実施した 3 次元レーザーレーダーシステム概略図を示す図である。

【図 2】 ( a ) は、2 次元光検出面 ( C C D 素子 ) に集光されるレーザーエコー光 ( 後方散乱光 ) を示す図であり、図 2 ( b ) は、C C D 素子面上 1 ピクセルのゲート時間 ( 上 ) と入射するレーザーエコー散乱信号 ( 下 ) を示す図である。

30

【図 3】 ( a ) は、1 ピクセルの短いゲート時間とそれに対する入射するレーザーエコー散乱信号を示す図であり、( b ) は、1 ピクセルの短いゲート時間とその遅延時間をスキャンさせたときに得られる入射レーザーエコー散乱信号を示す図である。

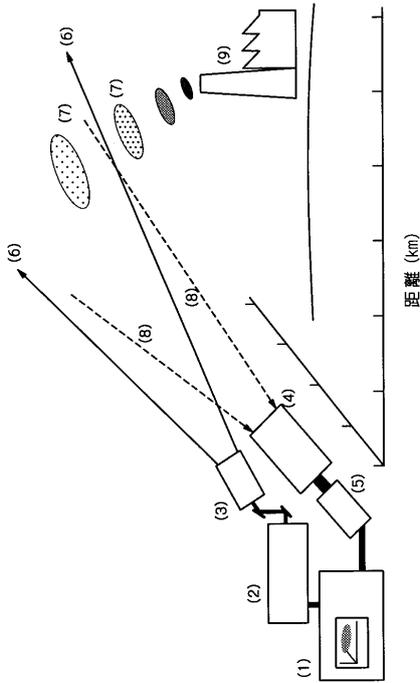
【図 4】 直線状に並んだピクセルのゲート時間を短くし、遅延時間をスキャンさせたときに得られるレーザーエコー散乱信号を示す図である。

【図 5】 レーザー光を大気中に照射した際に得られる大気中に分布するエアロゾル群の分布を示す図であり、( a ) は、ゲート遅延時間を一定にしたときに得られる大気中に分布するエアロゾル群の断面分布を示す図であり、( b ) は、C C D 面上のピクセルのゲート時間を短くし、遅延時間をスキャンさせたときに得られるエアロゾル群の 3 次元立体画像を示す図である。

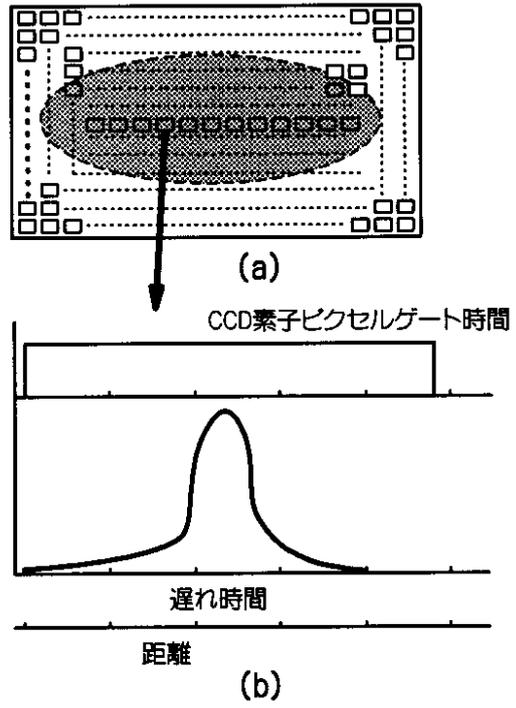
40

【図 6】 本発明の高速ゲート掃引型 C C D カメラの観測データを示す図である。

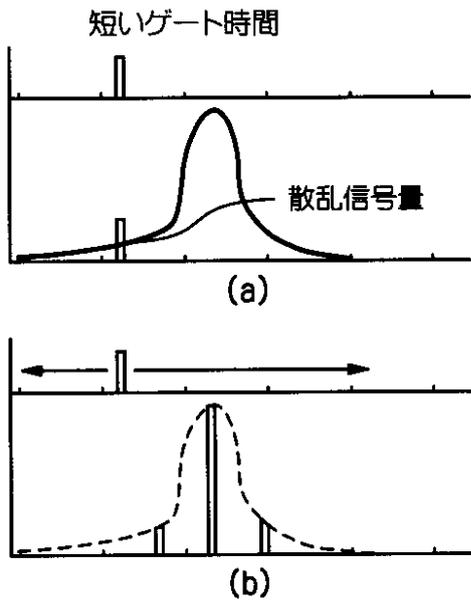
【図1】



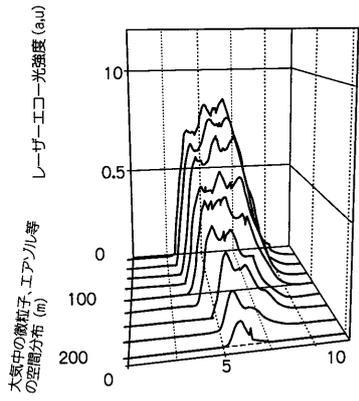
【図2】



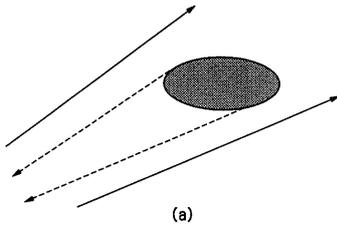
【図3】



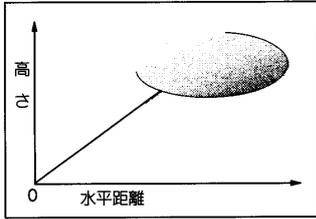
【図4】



【 図 5 】

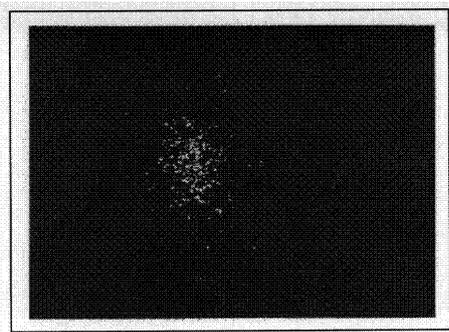


(a)



(b)

【 図 6 】



## フロントページの続き

(74)代理人 100091063

弁理士 田中 英夫

(74)代理人 100102727

弁理士 細川 伸哉

(74)代理人 100117813

弁理士 深澤 憲広

(74)代理人 100123548

弁理士 平山 晃二

(72)発明者 大図 章

京都府相楽郡木津町梅美台8丁目1番地 日本原子力研究所関西研究所内

(72)発明者 丸山 庸一郎

茨城県那珂郡東海村白方字白根2番地の4 日本原子力研究所東海研究所内

(72)発明者 加藤 政明

茨城県那珂郡東海村白方字白根2番地の4 日本原子力研究所東海研究所内

審査官 山下 雅人

(56)参考文献 特開昭48-059880(JP,A)

特開平09-178853(JP,A)

特開2000-055632(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/48-7/51

G01S 17/00-17/95

G01N 21/49

G01N 15/02

G01B 11/00-11/30